

⑤

Int. Cl. 2:

B 22 C 9/06

① **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

B 22 C 9/20

B 22 D 15/02

B 23 P 15/04

DEUTSCHES



PATENTAMT

DE 24 53 090 B 2

⑪

Auslegeschrift 24 53 090

⑫

Aktenzeichen: P 24 53 090.3-24

⑬

Anmeldetag: 8. 11. 74

⑭

Offenlegungstag: 22. 5. 75

⑮

Bekanntmachungstag: 26. 7. 79

③

Unionspriorität:

③② ③③ ③①

16. 11. 73 V.St.v.Amerika 416563

⑤④

Bezeichnung:

Verfahren und Form zum Herstellen einer gegossenen
Turbinehohlschaufel

⑦①

Anmelder:

United Technologies Corp., Hartford, Conn. (V.St.A.)

⑦④

Vertreter:

Menges, R., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 8000 München

⑦②

Erfinder:

Phipps, Charles M., Ridgewood, N.J.; Hayes, Douglas R., Vernon,
Conn (V.St.A.)

⑤⑥

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

US 30 08 204

DE 24 53 090 B 2

Patentansprüche:

1. Verfahren zum Herstellen einer gegossenen Turbinenhohlschaufel unter Verwendung von zwei äußeren Formhälften und eines Kerns, der mittels Kernlager von den äußeren Formhälften gehalten wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Kern an entgegengesetzten Rändern mit über den Umriß der zu gießenden Schaufel vorstehenden und in entsprechende Vertiefungen in den äußeren Formhälften passenden Flanschen versehen wird, so daß in der Form zwei völlig voneinander unabhängige Schaufelhälften gegossen werden, die nach dem Gießen zu einer vollständigen Schaufel zusammengesetzt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Form auf einer Abschreckplatte angeordnet, auf eine Temperatur oberhalb des Schmelzpunktes des Gießwerkstoffes gebracht und mit einem kontrollierten Wärmegradienten von unten nach oben abgekühlt wird, um ein Stengelgefüge zu erzeugen.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß an der Unterseite der äußeren Formhälften eine Wachstumszone geschaffen wird und daß bei Beginn der Erstarrung in der Wachstumszone in dem Gießwerkstoff ein Stengelkristallgefüge erzeugt wird.

4. Form zum Herstellen einer gegossenen Turbinenhohlschaufel, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3, mit zwei äußeren Formhälften und einem Kern, der mittels Kernlager von den äußeren Formhälften gehalten wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Kern (12) äußere Flansche (62, 64) hat, die über den Umriß der zu gießenden Schaufel vorstehen, und daß die äußeren Formhälften (22, 24) entsprechende Vertiefungen (76, 78; 86, 88) haben, die die Flansche aufnehmen, so daß die Form zwei völlig voneinander unabhängige Formhöhlräume (26, 28) enthält.

5. Form nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die äußeren Formhälften (22, 24) an einem Ende Abstand voneinander aufweisende Flächen (90, 92) haben, die eine Wachstumszone begrenzen.

6. Form nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die äußeren Formhälften (22, 24) und der Kern (12) am unteren Ende in derselben Ebene endigen und zwei Wachstumshöhlräume auf entgegengesetzten Seiten des Kerns begrenzen.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Form der im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 bzw. im Oberbegriff des Patentanspruchs 4 angegebenen Art zum Herstellen einer gegossenen Turbinenhohlschaufel.

In Gasturbinen, z. B. von Flugzeugen, müssen die Schaufeln unter extremen Temperaturbedingungen arbeiten, was eine sorgfältige und wirksame Innenkühlung der Schaufeln erforderlich macht.

Es ist bekannt, für die Herstellung von gegossenen Turbinenhohlschaufeln einen Kern und zwei äußere Formhälften zu verwenden, wobei der Kern mittels Kernlager von den äußeren Formhälften gehalten wird (US-PS 30 08 204). Ein solcher Kern ist zerbrechlich,

während des Gießvorganges Verformung und teilweiser Zersetzung ausgesetzt und muß vollständig entfernt werden, wenn die gegossene Schaufel abgekühlt ist. Das vollständige Entfernen macht ein Kernmaterial erforderlich, welches sich in einer Lösung, die nicht mit dem Gießwerkstoff der Schaufel reagiert, leicht zersetzt. Aber auch dann ist eine Inspektion der Form des Hohlraums und von darin gebildeten Kühlkanälen fast unmöglich. Das Problem wird noch erschwert, wenn die Schaufeln mit einem kristallinen Stengelgefüge hergestellt werden, da der Gießvorgang dann längere Zeit in Anspruch nimmt und dadurch größere Möglichkeiten bestehen, daß die Formhälften und der Kern beschädigt und verformt werden.

Eine ausreichende Inspektion der Innenflächen der Form sowie der Lage und Vollständigkeit des Kerns vor dem Gießvorgang ist auch bei Anwendung des bekannten Wachsaußschmelzverfahrens unmöglich, weil die Form einteilig ist. Das Gußstück muß somit hergestellt werden, ohne daß man weiß, ob die Schaufelflächen und insbesondere die Außenflächen einwandfrei sind.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Form zu schaffen, die das Überprüfen des Formhohlraums vor dem Gießen und der Innenflächen einer Turbinenhohlschaufel nach dem Gießen ermöglichen.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung durch die im Kennzeichen des Anspruchs 1 bzw. im Kennzeichen des Anspruchs 4 angegebenen Merkmale gelöst.

Gemäß der Erfindung wird die Schaufel in zwei Hälften hergestellt. Die Schaufelhälften werden gleichzeitig auf gegenüberliegenden Seiten des Kerns gegossen und anschließend nach dem Entnehmen aus der Form gereinigt und inspiziert und zu einer vollständigen Schaufel zusammengesetzt, deren Hohlraum die gewünschte Form hat. Da die Form aus mehreren Teilen besteht, können deren Innenflächen leicht überprüft werden, bevor die verschiedenen Teile zusammengebaut werden.

Das Verfahren nach der Erfindung ermöglicht den Präzisionsguß von hochwarmfesten Legierungen, ohne daß bei der Herstellung der Form die Verwendung von Wachs oder dgl. erforderlich ist. Es können hohle Gußstücke, wie Turbinenschaufeln, gegossen werden, indem schwer schmelzbare Oxide zum Bilden der Formoberflächen für die Innenflächen des Gußstückes verwendet werden, weil sie leicht aus dem Gußstück entfernt werden können, ohne daß sie aus dem Gußstück ausgelaugt werden müssen. Diese schwer schmelzbaren Oxide werden gegenwärtig als die gegenüber der schmelzflüssigen Gußlegierung am neutralsten angesehen.

Die Möglichkeit, für sämtliche Teile der Form inerte Oxide zu wählen, ermöglicht die Verwendung eines großen Bereiches von Legierungen für Turbinenhohlschaufeln ohne unerwünschte Reaktion zwischen der Form und der schmelzflüssigen Legierung. Somit können Legierungen, die sonst mit dem Material der Form oder des Kerns reagieren würden, zusammen mit geeignetem Formmaterial verwendet werden.

In der Ausgestaltung der Erfindung nach Anspruch 3 und 5 lassen sich Schaufeln mit Stengelgefüge herstellen. Die Wachstumszone des Gußstückes wird dabei von den Schaufelhälften entfernt, nachdem sie erstarrt und abgekühlt sind.

Mehrere Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher beschrieben. Es zeigt

Fig. 1 einen Horizontalschnitt durch eine zusammengebaute Form zum Herstellen von Schaufelhälften,

Fig. 2 eine Draufsicht auf die Innenseite einer der äußeren Formhälften,

Fig. 3 eine Draufsicht auf die Seite des Kerns, die mit der äußeren Formhälfte von Fig. 2 zusammenwirkt,

Fig. 4 eine Draufsicht auf die gegenüberliegende Seite des Kerns,

Fig. 5 eine Draufsicht auf die Innenfläche der äußeren Formhälfte, die mit der Seite des in Fig. 4 gezeigten Kerns zusammenwirkt,

Fig. 6 die vollständige Form auf einer Abschreckplatte,

Fig. 7 einen Vertikalschnitt durch die in den Fig. 1 und 6 dargestellte Form,

Fig. 8 einen Querschnitt durch die in der Form von Fig. 1 gegossenen Schaufelhälften,

Fig. 9 eine Draufsicht auf die Innenfläche der konkaven Schaufelhälfte,

Fig. 10 eine Draufsicht auf die Innenfläche der konvexen Schaufelhälfte,

Fig. 11 eine Schnittansicht der zusammengebauten Schaufel,

Fig. 12 eine Draufsicht auf die zusammengefügte Schaufel vor dem Entfernen des Oberteils,

Fig. 13 eine abgewandelte Ausführungsform in gleicher Ansicht wie in Fig. 1, und

Fig. 14 eine weitere abgewandelte Ausführungsform in gleicher Ansicht wie in Fig. 1.

Gemäß Fig. 1 besteht die Form aus einem Kern 12 mit einander gegenüberliegenden Seitenflächen 14 und 16, die in Zusammenarbeit mit den Innenflächen 18 und 20 von äußeren Formhälften 22 und 24 Hohlräume 26 und 28 begrenzen, in welchen die Schaufelhälften gegossen werden. Die Schaufelhälften sind in Fig. 8 im Querschnitt dargestellt.

Gemäß Fig. 8 ist die Schaufelhälfte 30 auf der Außenfläche 34 konvex und die Schaufelhälfte 32 auf der Außenfläche 36 konkav. Folglich ist die Innenfläche 38 der Schaufelhälfte 30 konkav und die Innenfläche 40 der Schaufelhälfte 32 konvex. An den Außenkanten haben die Schaufelhälften zusammenpassende Flächen, mittels welchen sie zusammengefügt werden, um die vollständige Schaufel herzustellen, wobei die Schaufelhälfte 30 ebene Flächen 42 und 44 an einander gegenüberliegenden Rändern hat, die mit gleichen ebenen Flächen 46 bzw. 48 an der Schaufelhälfte 32 zusammenpassen.

Der Kern 12 hat auf seiner Seitenfläche 14 eine Konfiguration, die der Innenfläche der Schaufelhälfte 30 angepaßt ist. Zu diesem Zweck ist der zentrale Teil 50 der Seitenfläche 14 insgesamt konvex, da die Innenfläche der Schaufelhälfte 30 konkav ist. Die gegenüberliegende Seitenfläche 16 des Kerns 12 ist insgesamt konkav und bildet das Gegenstück der Fläche 40 der Schaufelhälfte 32. An einander gegenüberliegenden Rändern hat die Seitenfläche 14 ebene schmale Flächen 52 und 54 zur Bildung der ebenen Flächen 42 bzw. 44 an der Schaufelhälfte 30.

Die gegenüberliegende Seitenfläche 16 hat an den einander gegenüberliegenden Rändern ihres zentralen Teils 56 ebene Flächen 58 und 60 zur Bildung der Flächen 46 bzw. 48 an der Schaufelhälfte 32. Ein Randflansch 62 steht über die einander gegenüberliegenden Flächen 52 und 58 an diesem Rand des zentralen Teils 56 vor, während ein Randflansch 64 über die ebenen Flächen 54 und 60 an dem gegenüberliegenden Rand des zentralen Teils 56 vorsteht. Die Flansche 62

und 64 sind vorzugsweise zueinander parallel, obgleich sie nicht in derselben Ebene liegen. Die einander gegenüberliegenden Flächen jedes Flansches sind zueinander parallel. Somit ist eine Seite des Kerns 12 so aufgebaut, daß die Innenfläche einer Schaufelhälfte erzeugt wird, und die andere Seite bildet die Innenfläche der anderen Schaufelhälfte. Der Kern 12 kann aus einem Material bestehen, welches nach Festigkeit und Reaktion ausgewählt ist, da zu seinem Entfernen kein Auslaugverfahren erforderlich ist. Der Kern 12 kann außerdem mit einer Dicke hergestellt werden, die für eine ausreichende Steifigkeit erforderlich ist, um die einander gegenüberliegenden Flächen während des Aufheizens der Form, des Eingießens der Legierung und des Abkühlens der Legierung und der Form in richtiger Lage zu den gegenüberliegenden Flächen der äußeren Formhälften zu halten.

Gemäß den Fig. 3 und 4 haben die konvexen und konkaven Flächenteile 50 bzw. 56 des Kerns 12 Schlitz 66 und Löcher 67 bzw. Schlitz 68 und Löcher 69, um an den Schaufelhälften die gewünschten Vorsprünge oder Leisten zu bilden, welche die Kuhlflutwege in der zusammengebauten Schaufel festlegen. Da die Vorsprünge oder Leisten an den einander gegenüberliegenden Schaufelhälften zusammenpassen müssen, sind die Schlitz 66 und 68 in spiegelbildlicher Lage zueinander angebracht, wie aus den Fig. 3 und 4 ersichtlich.

Die äußere Formhälfte 22 hat einen inneren konkaven Flächenteil 70 in der Mitte der Innenfläche 18 und dem Flächenteil 50 gegenüberliegend, wenn die Form zusammengebaut ist. Die Formhälfte 22 hat vorstehende Flansche 72 und 74 längs einander gegenüberliegender Ränder, die mit den Flanschen 62 und 64 an dem Kern 12 zusammenwirken und den Flächenteil 70 in dem gewünschten Abstand von dem Flächenteil 50 halten, damit die gewünschte Dicke der Schaufelhälfte 30 erzeugt wird. Jeder Flansch 72 und 74 hat eine Vertiefung 76 bzw. 78 auf seiner Innenfläche, welche die Endteile der Flansche 62 und 64 aufnehmen und so eine Lagerhälfte für den Kern 12 bilden. Der konvexe Flächenteil 70 erzeugt den Flügelprofilteil der Schaufelhälfte 30.

Die andere äußere Formhälfte 24 gleicht in ihrem Aufbau der Formhälfte 22. Sie hat einen zentralen, inneren, konvexen Flächenteil 80 mit vorstehenden Flanschen 82 und 84 längs einander gegenüberliegender Ränder, die mit den Flanschen 62 bzw. 64 an dem Kern 12 zusammenwirken und den Flächenteil 80 in dem gewünschten Abstand von dem Flächenteil 56 halten, damit die gewünschte Legierungsdicke der Schaufelhälfte 32 erzeugt wird. Jeder Flansch 82 und 84 hat eine Vertiefung 86 bzw. 88, welche die Endteile der Flansche 62 und 64 aufnehmen und so die andere Hälfte des Kernlagers bilden.

Zusätzlich hat das untere Ende jeder äußeren Formhälfte 22 und 24 eine größere rechteckige Aussparung 90 bzw. 92, die in Zusammenarbeit eines kombinierten Wurzel- und Wachstumshohlraum festlegen. Die untere Hälfte des Hohlraums dient zur Ausbildung eines stengelartigen Kristallwachstums.

Dieser Teil des Gußstückes wird entfernt, bevor die Schaufelhälften zusammengefügt werden. Obgleich es nicht erforderlich ist, erstreckt sich der Kern 12 um die gleiche Strecke abwärts wie die äußeren Formhälften 22, 24, um den Wurzel- und Wachstumshohlraum zu unterteilen. Somit stehen alle drei Formteile 12, 22, 24 mit der Abschreckplatte in Berührung, wie in Fig. 7 dargestellt, wenn die Form für einen Gießvorgang

bereit ist. An der Basis der äußeren Formhälften 22, 24 sind Bunde 93 zum Halten der Form auf der Abschreckplatte vorgesehen.

Wenn sich der Kern 12 nur teilweise in den Wurzel- und Wachstumshohlraum erstreckt, wird ein unterteilter Wurzelhohlraum, aber ein ungeteilter Wachstumshohlraum gebildet.

In den einander gegenüberliegenden oberen Enden der äußeren Formhälften 22, 24 befindet sich eine Ausnehmung 94 bzw. 96 für einen Steigerhohlraum. Der wirksame Teil der Schaufel endet an der Oberseite 97 der Flügelprofilflächen der äußeren Formhälften 22, 24.

Die Formhälften 22, 24 werden vorgefertigt und, wenn erst einmal eine metallische Matritze für jede Formhälfte hergestellt ist, können sie mit ihr in Mengen hergestellt werden. Das Formmaterial kann viel stabiler sein als das bei dem herkömmlichen Wachsaußschmelzverfahren verwendete Material. Die Flächen der fertiggestellten Formhälften, die mit Legierung in Berührung kommen, können vor dem Zusammenbau zu einer Form sorgfältig und vollständig überprüft werden, um ein Gußstück der gewünschten Konfiguration sicherzustellen. Mit einem starren Kern 12 wird die gewünschte Abmessungs- und Oberflächenpräzision der fertigen Gußschaufelhälften zuverlässig erzielt.

Die Formhälften 22, 24 können auch eine solche Konfiguration haben, daß Haltepunkte für die beiden Schaufelhälften geschaffen werden. Wie Fig. 7 zeigt, haben die einander gegenüberliegenden Seiten des Kerns 12 eine Ausnehmung 98 bzw. einen mit dieser zusammenpassenden Vorsprung 99, die an dem Steigerteil des Kerns angeordnet sind. Eine gleiche Ausnehmung 100 und ein gleicher Vorsprung 101 sind in dem Wurzelteil des Kerns 12 an zusammenpassenden Stellen gebildet. Wenn die Schaufelhälften gegossen sind, passen die Vorsprünge 102 und 103 an den Schaufelhälften in die Ausnehmungen 104 bzw. 105 und halten sie in der korrekten Lage zum Zusammenfügen der Schaufelhälften genau fest.

Für das Überprüfen der fertigen Schaufelhälften oder der zusammengefügten Schaufel können weitere zusammenpassende Haltevorrichtungen in die Außenflächen der Schaufel eingegossen sein. Zu diesem Zweck können die Ausnehmungen 94 und 96 in den äußeren Formhälften 22 bzw. 24 mit in genauer Lage angebrachten Aussparungen 106 und 107 versehen sein, die Halteköpfe 108 bilden, von denen einer in Fig. 12 gezeigt ist, die den Zweck haben, die Gußschaufel in einer Prüfvorrichtung zum Überprüfen der Genauigkeit des Flügelprofils festzuhalten. Weitere Aussparungen 110 und 111, die in den Ausnehmungen 90 bzw. 92 gebildet sind, erzeugen Halteköpfe 112, von denen nur einer in Fig. 12 dargestellt ist. Es ist zu erkennen, daß die Präzision des Investmentgießverfahrens und die Präzision der Herstellung der Formteile 12, 22, 24 in genauer Lage angeordnete und präzise geformte Köpfe und Aussparungen an den Gußstücken erzeugen, welche die oben beschriebene Funktion haben.

Wenn die drei Teile gemäß Fig. 1 zusammengebaut und zusammengespant sind, bilden sie eine vollständige Form. Ein Eingußtrichter und -kanal aus Formmaterial wird an der Oberseite befestigt und die Form ist für den Gießvorgang bereit. Wenn das Gußstück Stengelgefüge haben soll, wie oben beschrieben, wird die Form in einen Ofen eingebracht und auf eine Temperatur oberhalb des Schmelzpunktes der Legierung erhitzt. Die um mehrere hundert Grad überhitzte geschmolzene Legierung wird eingefüllt und der Erstarrungsvorgang

beginnt von der Abschreckplatte aus aufwärts, indem der Wärmegradient kontrolliert wird. Das Kristallwachstum in beiden Hälften ist gleich und es werden zusammenpassende Schaufelhälften erzeugt.

Wie die Fig. 8 und 9 zeigen, erzeugen die Schlitzte 66 und 68 und Löcher 67 und 69 in dem Kern 12 die Leisten und Vorsprünge 113 und 114 auf den Innenflächen der Schaufelhälften 30 bzw. 32. Weil diese Flächen der Schaufelhälften ohne weiteres sichtbar sind, wenn die Schaufelhälften für den Zusammenbau bereit sind, ist es einfach, eine vollständige und genaue Überprüfung vorzunehmen, um sicherzustellen, daß die Vorsprünge richtig angeordnet sind und eine Lage haben, in welcher sie zusammenpassen. Die Konfigurationen von Vorsprüngen und Leisten sind spiegelbildlich zueinander, wenn man die Fig. 9 und 10 betrachtet.

Nach dem Abkühlen und Reinigen der Schaufelhälften und einer vollständigen Überprüfung beider Innen- und Außenflächen werden sie zusammengebaut und durch die zusammenwirkenden Vorsprünge und Aussparungen gehalten. Sie werden dann zu einer vollständigen Schaufel dauerhaft miteinander verbunden. Gemäß Fig. 12 hat die Schaufel mit geeigneten Kühlkanälen in dem inneren Hohlraum einen Flügelprofilteil 115 und einen Wurzelteil 116. An der Oberseite befindet sich der Zusammenbau- und Prüfteil, in welchem die Zusammenbauaussparungen und -vorsprünge angeordnet sind und welcher die Halteköpfe 108 hat. Dieser Teil wird entfernt, bevor die Schaufel gebrauchsbereit ist.

Die vorstehende Beschreibung ist zwar auf eine Turbinenlaufschaufel gerichtet, dasselbe Verfahren ist jedoch in gleicher Weise auf das Herstellen von Turbinenleitschaufeln für die feststehenden Schaufelkränze anwendbar. Die äußeren Formhälften 22, 24 brauchen nur so abgewandelt zu werden, daß an den Schaufelhälften Plattformen gebildet werden. Weiter könne die äußeren Formhälften 22, 24 bei Bedarf mit angeformten Steiger- und Fülltrichterhöhlräumen versehen sein, so daß die Form für den Gießvorgang komplett ist, wenn die Formteile 12, 22, 24 zusammengebaut sind.

Die oben beschriebene Form dient zur Herstellung von Gußstücken mit Stengelgefüge. Zur Herstellung von Einkristallgußstücken wird die Wachstumszone durch eine Kristallselektorzachstumszone ersetzt. Es können auch gleichachsige Gußstücke durch dieses Verfahren hergestellt werden.

In Fig. 13 ist eine der äußeren Formhälften auf der Außenfläche für eine weitere Schaufelform mit einer geeigneten Form versehen. Deshalb sind eine äußere Formhälfte 24', ein Kern 12' und eine weitere äußere Formhälfte 22' vorgesehen. Letztere hat auf der von dem Kern 12' abgewandten Seite eine Fläche 20'', die der Form der Fläche 20' entspricht und mit einem weiteren Kern 12'' zusammenwirkt. Somit kann ein Stapel dieser Formteile hergestellt werden, um mehrere Paare von Schaufelhälften entweder gleichzeitig oder nacheinander zu gießen, wenn die Formanordnung auf einer Fördereinrichtung angeordnet ist, welche die Anordnung an einer Gießanordnung vorbeiführt. Eine solche Formanordnung könnte einen Ring bilden, der zum Mehrfachgießen um eine zentrale Achse angeordnet ist.

Eine weitere Alternative ist eine Anordnung, mittels welcher sämtliche Schaufelhälften eines Typs gleichzeitig hergestellt werden. Wie Fig. 14 zeigt, besteht die Formanordnung aus mehreren Kernen 12''', von denen eine Seite mit einem Endteil 24''' zusammenwirkt. Jeder

24 53 090

7

Kern 12" hat auf einander gegenüberliegenden Seiten duplizierte Flächen, wodurch mehrere konkave Seiten der Schaufel gleichzeitig hergestellt werden. Kernlager 118 sind vorgesehen. Bei dieser Anordnung ist ein weiterer Satz von Formen erforderlich, um die konvexe Seite der Schaufel herzustellen. 5

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen



FIG. 13

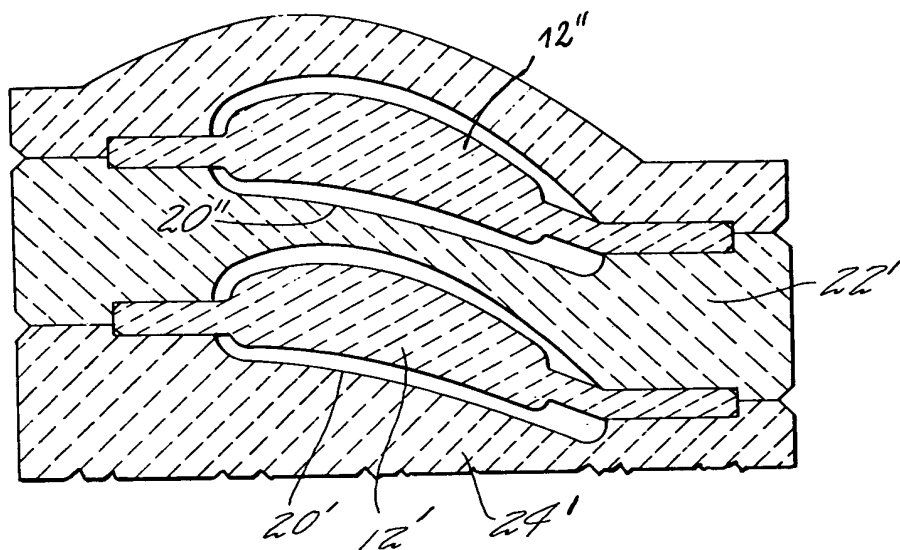
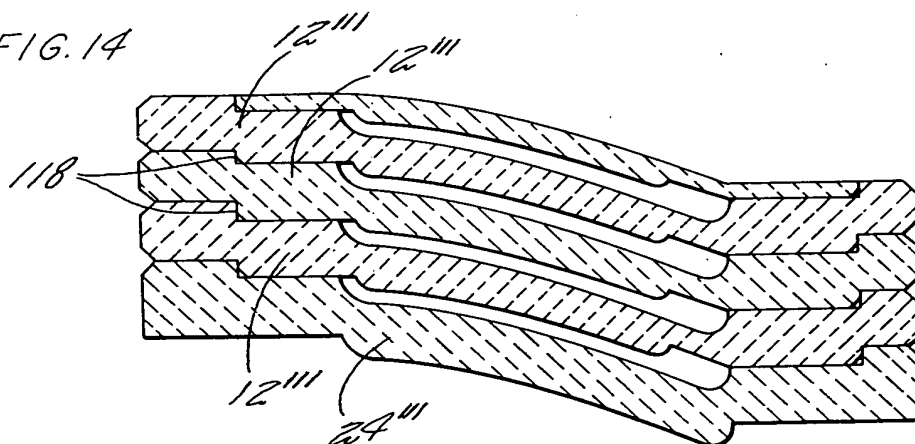


FIG. 14



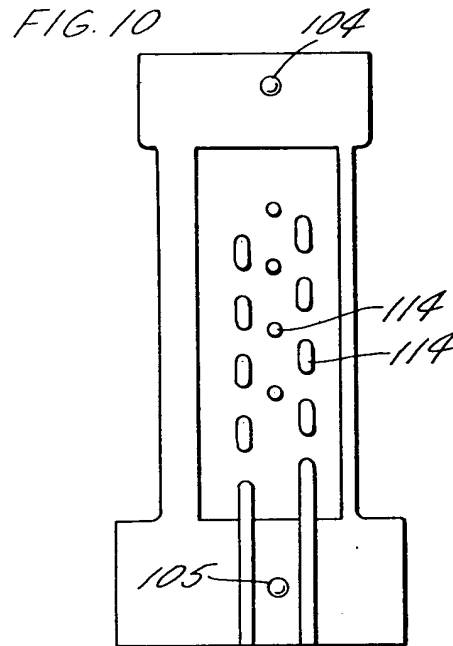
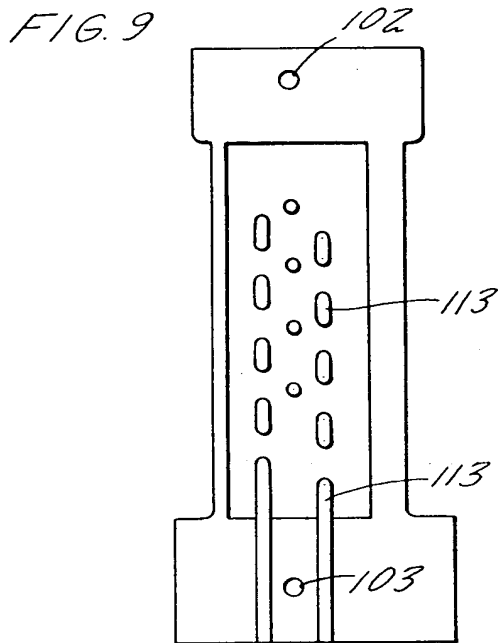


FIG. 12

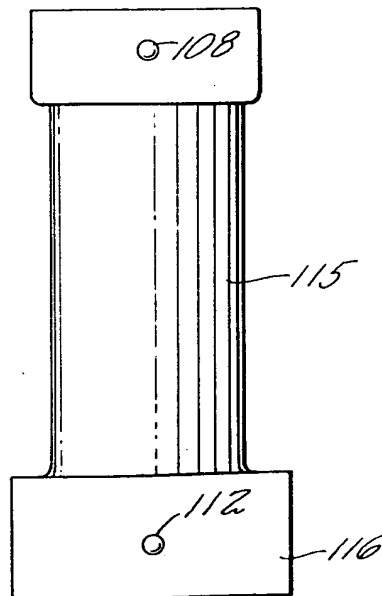


FIG. 2

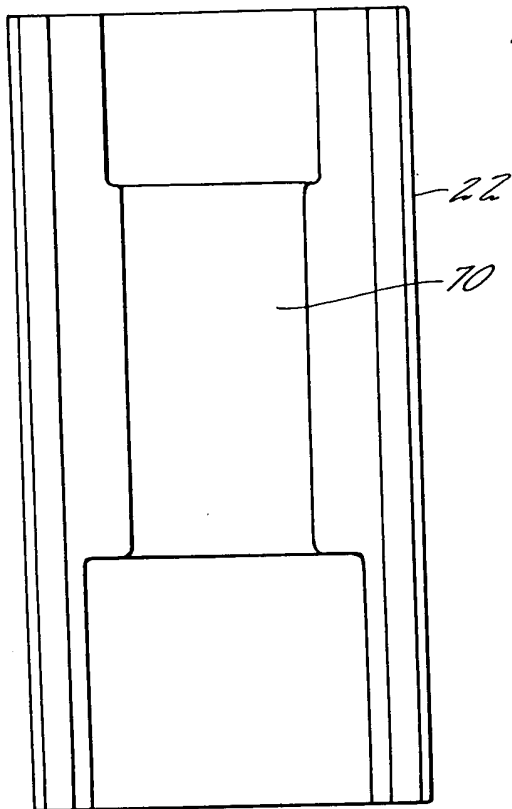


FIG. 3

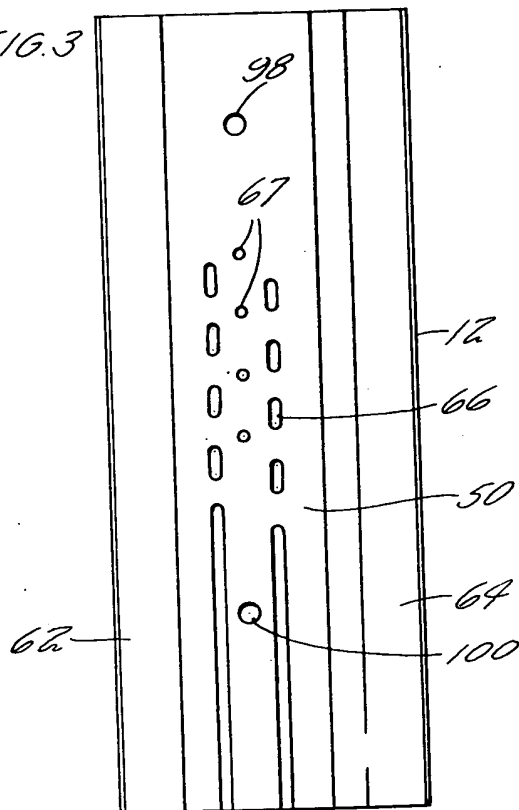


FIG. 4

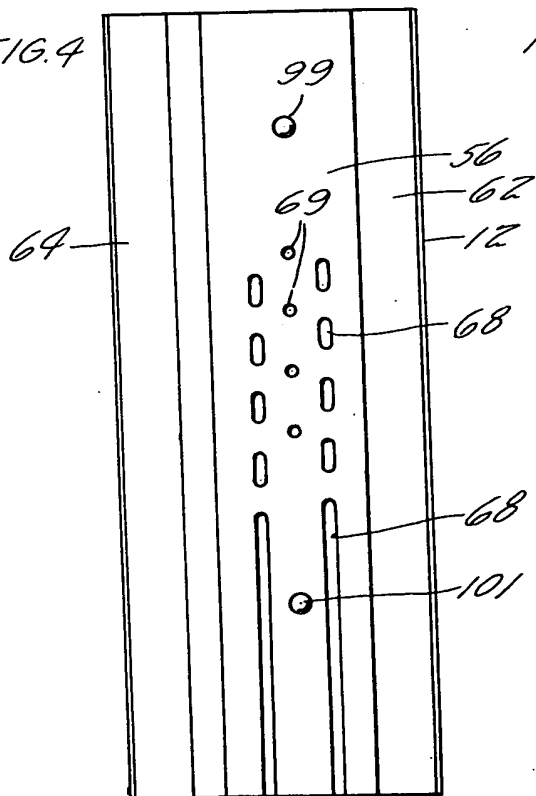


FIG. 5

